

Japanese Patent Laid-open Publication No. HEI H06-045682 A

Publication date : February 18, 1994

Applicant : FUJITSU LIMITED

Title : OPTICAL AMPLIFIER

5

(57) [Abstract]

[PURPOSE] The present invention relates to an optical amplifier.

It is an object of the invention to provide an optical amplifier  
capable of maintaining power of an output signal light irrespective  
10 of abrupt change of power of an input signal light.

[CONSTITUTION] An optical amplifier of the present invention  
comprises an optical amplifying unit 13 having an exciting light  
source 11 and an optical amplifying medium 12 to which are guided  
a signal light and an exciting light from the exciting light source  
15 11, and an attenuation control unit which attenuates an optical  
output of the optical amplifying unit 13 by an attenuation factor  
controlled so that the output power may become constant.

[0011] Fig. 2 is a block diagram illustrating the second  
20 configuration of the optical amplifier according to the present  
invention, and this configuration corresponds to that specified  
by claim 15. The second configuration of the optical amplifier  
according to the present invention comprises the optical amplifying  
unit 13 having the exciting light source 11 and the optical amplifying  
25 medium 12 to which are guided a signal light and an exciting light

from the exciting light source 11, an optical branching unit 21 which branches an optical output of the optical amplifying unit 13 into a first branched light and a second branched light, a control light introducing unit 22 which introduces into the optical  
5 amplifying medium 12 from the downstream side in the propagation direction of the above-mentioned optical signal, a control light of a wavelength band which induces stimulated emission in the optical amplifying medium 12, and a control signal controlling unit 23 which effects feedback control of power of the above-mentioned control  
10 light based on the power of the above-mentioned first branched light.

[0073] Fig. 11 is a block diagram illustrating another specific embodiment of the second configuration of the optical amplifier according to the present invention as shown in Fig. 2.  
15 This embodiment is different from that as illustrated in Fig. 10 in that a signal light output from port 111C of an optical circulator 111 is branched off by an optical branching circuit 121 in order to control a control light based on one branched light. The other branched light of the optical branching circuit 121 becomes an  
20 optical output of this optical amplifier. For the optical branching circuit 121, the same as optical branching circuit 57 is used.

[0074] A photo detector 122 outputs a D.C. voltage signal corresponding to average power of a branched light provided from the optical branching circuit 121. A bias control circuit 123  
25 compares the D.C. voltage signal output from the photo detector

122 with reference voltage  $V_{ref5}$  to a control bias current of laser diode 112 so that an error component resulting from the comparison can be zero.

[0075] This embodiment also makes it possible to maintain  
5 power of an output signal light irrespective of abrupt change of  
power of an input signal light. For the same reason, as the embodiment  
illustrated in Fig. 10, reference voltages  $V_{ref1}$  and  $V_{ref5}$  in respective  
bias control circuits 59 and 123, photoelectric conversion effects  
in photo detectors 58 and 122, and branching ratios of optical  
10 branching circuits 57 and 121 are adjusted so that the power of  
an optical output from this optical amplifier (a control light  
controlling target value) in the case where a D.C. voltage signal  
from the photo detector 122 is equal to reference voltage  $V_{ref5}$  in  
the bias control circuit 123 may be equal to or greater than the  
15 power of an optical output from this optical amplifier (a exciting  
light controlling target value) in the case where a D.C. voltage  
signal from the photo detector 58 is equal to reference voltage  
 $V_{ref5}$  in the bias control circuit 59.

20 [Fig. 2] A block diagram illustrating the second configuration  
of an optical amplifier according to the present invention.

[Fig. 11] A block diagram illustrating another specific  
embodiment of the second configuration as shown in Fig. 2.

[Fig. 2]

Block diagram of the second configuration

- 13      optical amplifying unit
- 12      optical amplifying medium
- 5 11     exciting light source
- 22      control light introducing unit
- 21      optical branching unit
- 23      control light controlling unit

10 [Fig. 11]

Block diagram illustrating another specific embodiment of the second configuration

- 58      photo detector
- 59      bias control circuit
- 15 122   photo detector
- 123      bias control circuit

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-45682

(43)公開日 平成6年(1994)2月18日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/13		8934-4M		
G 0 2 F 1/35	5 0 1	8106-2K		
H 0 1 S 3/07		8934-4M		
3/094		8934-4M	H 0 1 S 3/ 094	S
審査請求 未請求 請求項の数19(全 16 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平4-196947

(22)出願日 平成4年(1992)7月23日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 西本 央

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 松本 昂

(54)【発明の名称】 光増幅器

(57)【要約】

【目的】本発明は光増幅器に関し、入力信号光のパワーの急峻な変化にかかわらず出力信号光のパワーを一定に保つことができる光増幅器の提供を目的とする。

【構成】励起光源11と信号光及び励起光源11からの励起光が導波される光増幅媒体12とを含む光増幅手段13と、光増幅手段13の光出力を、出力パワーが一定になるように制御された減衰率で減衰させる制御減衰手段14とから構成する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 励起光源(11)と信号光及び該励起光源(11)からの励起光が導波される光増幅媒体(12)とを含む光増幅手段(13)と、

該光増幅手段(13)の光出力を、出力パワーが一定になるように制御された減衰率で減衰させる制御減衰手段(14)とを備えたことを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 上記光増幅手段(13)の光出力を第1分岐光及び第2分岐光に分岐する第1の光分岐手段(31)と、上記第1分岐光のパワーに基づき上記励起光のパワーをフィードバック制御する励起光制御手段(32)とをさらに備え、

上記第2分岐光が上記制御減衰手段(14)に供給されることを特徴とする請求項1に記載の光増幅器。

【請求項3】 上記制御減衰手段(14)は、上記第2分岐光が供給される減衰率可変型の光減衰器(33)を含むことを特徴とする請求項2に記載の光増幅器。

【請求項4】 上記制御減衰手段(14)は、上記光減衰器(33)の光出力を第3分岐光及び第4分岐光に分岐する第2の光分岐手段(34)と、上記第3分岐光のパワーに基づき上記光減衰器(33)の減衰率をフィードバック制御する減衰率フィードバック制御手段(35)とをさらに含み、該減衰率フィードバック制御手段(35)における制御による光パワーの変化の応答速度が上記励起光制御手段(32)における制御による光パワーの変化の応答速度よりも十分に速いことを特徴とする請求項3に記載の光増幅器。

【請求項5】 上記励起光源(11)はレーザダイオード(51)からなり、

上記励起光制御手段(32)は、上記第1分岐光が入力され該第1分岐光の平均パワーに応じた直流電圧信号を出力する第1の受光回路(58)と、該第1の受光回路(58)からの直流電圧信号を第1の参照電圧と比較してその誤差成分が零になるように上記レーザダイオード(51)のバイアス電流を制御するバイアス制御回路(59)とを含み、上記減衰率フィードバック制御手段(35)は、上記第3分岐光が入力され該第3分岐光の平均パワーに応じた直流電圧信号を出力する第2の受光回路(60)と、該第2の受光回路(60)からの直流電圧信号を第2の参照電圧と比較してその誤差成分が零になるように上記光減衰器(33)の減衰率を制御する減衰率制御回路(61)とを含むことを特徴とする請求項4に記載の光増幅器。

【請求項6】 上記第2の受光回路(60)からの直流電圧信号が上記第2の参照電圧に等しいとしたときの上記光減衰器(33)の光出力のパワーは、上記第1の受光回路(58)からの直流電圧信号が上記第1の参照電圧に等しいとしたときの上記光減衰器(33)の光入力のパワーに等しいかそれよりも小さいことを特徴とする請求項5に記載の光増幅器。

【請求項7】 上記制御減衰手段(14)は、上記第1分岐光のパワーに基づき上記光減衰器(33)の減衰率をフィー

ドフォワード制御する減衰率フィードフォワード制御手段(41)をさらに含み、

該減衰率フィードフォワード制御手段(41)における制御による光パワーの変化の応答速度が上記励起光制御手段(32)における制御による光パワーの変化の応答速度よりも十分に速いことを特徴とする請求項3に記載の光増幅器。

【請求項8】 上記光減衰器(33)に入力する上記第2分岐光を遅延させる光遅延手段をさらに備え、

該光遅延手段における遅延時間は上記減衰率フィードフォワード制御手段(41)の制御応答特性に応じて設定されることを特徴とする請求項7に記載の光増幅器。

【請求項9】 上記励起光源(11)はレーザダイオード(51)からなり、

上記励起光制御手段(32)は、上記第1分岐光が入力され該第1分岐光の平均パワーに応じた直流電圧信号を出力する受光回路(58)と、該受光回路(58)からの直流電圧信号を第1の参照電圧と比較してその誤差成分が零になるように上記レーザダイオード(51)のバイアス電流を制御するバイアス制御回路(59)とを含み、

上記減衰率フィードフォワード制御手段(41)は、上記受光回路(58)からの直流電圧信号を第2の参照電圧と比較してその誤差成分が零になるように上記光減衰器(33)の減衰率を制御する減衰率制御回路(101)を含むことを特徴とする請求項8に記載の光増幅器。

【請求項10】 上記受光回路(58)からの直流電圧信号が上記第2の参照電圧に等しいとしたときの上記光減衰器(33)の光出力のパワーは、上記受光回路(58)からの直流電圧信号が上記第1の参照電圧に等しいとしたときの上記光減衰器(33)の光入力のパワーに等しいかそれよりも小さいことを特徴とする請求項9に記載の光増幅器。

【請求項11】 上記光減衰器(33)は、LiNbO<sub>3</sub> マッハツェンダ型光変調器、半導体電界吸収型光変調器及び半導体マッハツェンダ型光変調器から選択される光変調器からなり、該光変調器に与えられる電圧信号により上記減衰率が制御されることを特徴とする請求項3に記載の光増幅器。

【請求項12】 上記制御減衰手段(14)は、上記第2分岐光を第1偏波成分と該第1偏波成分の偏波面に垂直な偏波面を有する第2偏波成分に偏波分離する偏波分離手段と、上記第1偏波成分が入力する減衰率可変型の第1の光減衰器(92A)と、上記第2偏波成分が入力する減衰率可変型の第2の光減衰器(92B)と、該第1及び第2の光減衰器からそれぞれ出力される偏波成分を偏波合成する偏波合成手段とを含むことを特徴とする請求項2に記載の光増幅器。

【請求項13】 上記励起光源(11)はレーザダイオード(51)からなり、

上記光増幅媒体(12)は少なくともコアに希土類元素がドープされたドープファイバ(52)からなり、

上記光増幅手段(13)は、

上記信号光及び上記励起光がそれぞれ入力する第1ポート(53A)及び第2ポート(53B)並びに合波された上記信号光及び上記励起光が出力する第3ポート(53C)を有する光合波器(53)と、

入力ポート(54A)及び出力ポート(54B)を有し、該入力ポート(54A)は上記光合波器(53)の第3ポート(53C)に接続され、該出力ポート(54B)は上記ドープファイバ(52)の第1端に接続される第1の光アイソレータ(54)と、

入力ポート(55A)及び出力ポート(55B)を有し、該入力ポート(55A)は上記ドープファイバ(52)の第2端に接続される第2の光アイソレータ(55)と、

入力ポート(56A)及び出力ポート(56B)を有し、該入力ポート(56A)は上記第2の光アイソレータ(55)の出力ポート(55B)に接続され、その出力ポート(56B)の光出力が上記制御減衰手段に供給される光帯域通過フィルタ(56)とをさらに含むことを特徴とする請求項1に記載の光増幅器。

【請求項14】 上記信号光の波長は1.55 $\mu$ m帯にあり、上記励起光の波長は1.48 $\mu$ m帯又は0.98 $\mu$ m帯にあり、上記ドープファイバ(52)にドープされる希土類元素はEr(エルビウム)であり、上記光帯域通過フィルタ(56)の通過波長帯域は1.55 $\mu$ m帯にあることを特徴とする請求項13に記載の光増幅器。

【請求項15】 励起光源(11)と信号光及び該励起光源(11)からの励起光が導波される光増幅媒体(12)とを含む光増幅手段(13)と、

該光増幅手段(13)の光出力を第1分岐光及び第2分岐光に分岐する光分岐手段(21)と、

上記光増幅媒体(12)で誘導放出を生じさせる波長帯の制御光を上記光増幅媒体(12)に上記信号光の伝搬方向下流側から導入する制御光導入手段(22)と、

上記第1分岐光のパワーに基づき上記制御光のパワーをフィードバック制御する制御光制御手段(23)とを備えたことを特徴とする光増幅器。

【請求項16】 上記第1分岐光のパワーに基づき上記励起光のパワーをフィードバック制御する励起光制御手段をさらに備え、

上記制御光制御手段(23)における制御による光パワーの変化の応答速度が上記励起光制御手段における制御による光パワーの変化の応答速度よりも十分速いことを特徴とする請求項15に記載の光増幅器。

【請求項17】 上記励起光源(11)は第1のレーザダイオード(51)からなり、

上記光増幅媒体(12)は少なくともコアに希土類元素がドープされたドープファイバ(52)からなり、

上記光増幅手段(13)は、

上記信号光及び上記励起光がそれぞれ入力する第1ポート(53A)及び第2ポート(53B)並びに合波された上記信号光及び上記励起光が出力する第3ポート(53C)を有す

る光合波器(53)と、

入力ポート(54A)及び出力ポート(54B)を有し、該入力ポート(54A)は上記光合波器(53)の第3ポート(53C)に接続され、該出力ポート(54B)は上記ドープファイバ(52)の第1端に接続される光アイソレータ(54)と、

入力ポート(56A)及び出力ポート(56B)を有し、該入力ポート(56A)は上記ドープファイバ(52)の第2端に接続され、該出力ポート(56B)は上記光分岐手段に接続される光帯域通過フィルタ(56)とをさらに含み、

上記励起光制御手段は、

上記第1分岐光が入力され該第1分岐光の平均パワーに応じた直流電圧信号を出力する受光回路(58)と、

該受光回路(58)からの直流電圧信号を第1の参照電圧と比較してその誤差成分が零になるように上記第1のレーザダイオード(51)のバイアス電流を制御する第1のバイアス制御回路(59)とを含み、

上記制御光導入手段(22)は、

上記制御光を出力する第2のレーザダイオード(112)と、

該第2のレーザダイオード(112)に接続される第1ポート(111A)と上記光分岐手段に接続される第2ポート(111B)と出力側光伝送路に接続される第3ポート(111C)とデッドエンドにされる第4ポート(111D)とを有し、該第1ポート(111A)に入力した光を該第2ポート(111B)のみから出力し、該第2ポート(111B)に入力した光を該第3ポート(111C)のみから出力し、該第3ポート(111C)に入力した光を該第4ポート(111D)のみから出力し、該第4ポート(111D)に入力した光を該第1ポート(111A)のみから出力する光サーキュレータ(111)とを含み、

上記制御光制御手段(23)は、上記受光回路(58)からの直流電圧信号を第2の参照電圧と比較してその誤差成分が零になるように上記第2のレーザダイオード(112)のバイアス電流を制御する第2のバイアス制御回路(113)を含むことを特徴とする請求項16に記載の光増幅器。

【請求項18】 上記受光回路(58)からの直流電圧信号が上記第2の参照電圧に等しいとしたときの上記第2分岐光のパワーは、上記受光回路(58)からの直流電圧信号が上記第1の参照電圧に等しいとしたときの上記第2分岐光のパワーに等しいかそれよりも大きいことを特徴とする請求項17に記載の光増幅器。

【請求項19】 上記制御光の波長は上記信号光の波長にほぼ等しいことを特徴とする請求項15に記載の光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(目次)

産業上の利用分野

従来の技術

発明が解決しようとする課題

課題を解決するための手段

作用

実施例

発明の効果

【0002】

【産業上の利用分野】本発明は光増幅器に関する。光増幅器の光伝送システムへの適用形態としては、光中継器、光送信機用の電力増幅器、光受信機用の前置増幅器等がある。このような光増幅器の用途においては、入力した光のパワーにかかわらず出力される光のパワーが一定になるような制御を行うことが、後段の装置の安定動作を確保する上で要求される。

【0003】

【従来の技術】励起光により光増幅媒体を励起状態にし、光増幅媒体内で生じる誘導放出により信号光を増幅するように構成された光増幅器が公知である。

【0004】この種の光増幅器においては、一般に、出力される信号光のパワーが一定になるようにするために、光増幅媒体の光出力を分岐し、分岐光のパワーに基づき励起光のパワーを制御するフィードバックループが付加的に設けられている。

【0005】光増幅媒体としては、例えば、Er（エルビウム）等の希土類元素がドープされたドープファイバが用いられる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】光増幅媒体としてドープファイバが用いられている場合、上述のようなフィードバックループを設けたとしても、入力信号光のパワーが急峻に変化したときに、励起光のパワーの変化に対する光増幅媒体の応答が遅いために、出力信号光のパワーが必ずしも一定に保たれないことがあるという問題が生じる。

【0007】例えば、入力信号光のパワーが急激に増大した場合、フィードバックループにより励起光のパワーは急激に減少させられるが、励起光のパワーの減少に伴う光増幅媒体の反転分布の減少は急激にはなされない（ドープ元素がErである場合十数ミリ秒必要）ので、出力信号光はサージ状のパワー変動を伴うことになる。また、入力信号光のパワーが急激に減少した場合に制御のオーバーシュートによりサージ状の極端なパワー変動が生じることもある。このようなサージ状のパワー変動が生じると、例えば光受信機における受光素子やトランジスタが破損する恐れが生じる。

【0008】本発明の目的は、入力信号光のパワーの急峻な変化にかかわらず出力信号光のパワーを一定に保つことができる光増幅器を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の光増幅器の第1構成を示すブロック図であり、この構成は請求項1により特定される構成に対応している。

【0010】本発明の光増幅器の第1構成は、励起光源

11と信号光及び励起光源11からの励起光が導波される光増幅媒体12を含む光増幅手段13と、光増幅手段13の光出力を、出力パワーが一定になるように制御された減衰率で減衰させる制御減衰手段14とを備える。

【0011】図2は本発明の光増幅器の第2構成を示すブロック図であり、この構成は請求項15により特定される構成に対応している。本発明の光増幅器の第2構成は、励起光源11と信号光及び励起光源11からの励起光が導波される光増幅媒体12を含む光増幅手段13と、光増幅手段13の光出力を第1分岐光及び第2分岐光に分岐する光分岐手段21と、光増幅媒体12で誘導放出を生じさせる波長帯の制御光を光増幅媒体12に上記信号光の伝搬方向下流側から導入する制御光導入手段22と、上記第1分岐光のパワーに基づき上記制御光のパワーをフィードバック制御する制御光制御手段23とを備える。

【0012】

【作用】本発明の光増幅器の第1構成によると、出力パワーが一定になるように減衰率が制御される制御減衰手段を設けており、この種の減衰率制御では制御の応答速度を十分に速くすることができるので、入力信号光のパワーの急峻な変化にかかわらず出力信号光のパワーを一定に保つことができる光増幅器の提供が可能になる。

【0013】本発明の光増幅器の第2構成において、光増幅媒体12で誘導放出を生じさせる波長帯の制御光が、制御光導入手段22により光増幅媒体12に信号光の伝搬方向下流側から導入されると、光増幅媒体12における反転分布は導入された制御光のパワーに応じて減少させられる。反転分布が減少すると、光増幅手段13における利得は下がる。この場合、光増幅媒体12における利得の減少は、制御光のパワーの変化（増大）に高速で応答する。

【0014】従って、光分岐手段21からの分岐光のパワーに基づき制御光のパワーをフィードバック制御することによって、入力信号光のパワーの急峻な変化にかかわらず出力信号光のパワーを一定に保つことができるようになる。

【0015】

【実施例】以下、本発明の実施例を説明する。尚、全図を通して実質的に同一の部分には同一の符号を付すことにする。

【0016】図3は本発明の光増幅器の第1構成の第1実施態様を示すブロック図である。この第1実施態様においては、光増幅手段13の光出力を第1分岐光及び第2分岐光に分岐する光分岐手段31と、光分岐手段31からの第1分岐光のパワーに基づき励起光のパワーをフィードバック制御する励起光制御手段32とが付加的に設けられており、光分岐手段31からの第2分岐光が制御減衰手段（図1参照）に供給される。



【0017】制御減衰手段は、光分岐手段31からの第2分岐光が供給される減衰率可変型の光減衰器33と、光減衰器33の光出力を第3分岐光及び第4分岐光に分岐する光分岐手段34と、光分岐手段34からの第3分岐光のパワーに基づき光減衰器33の減衰率をフィードバック制御する減衰率フィードバック制御手段35とを含む。

【0018】減衰率フィードバック制御手段35における制御による光パワー（光減衰器33の光出力のパワー）の変化の応答速度は、励起光制御手段32における制御による光パワー（光増幅媒体12の光出力のパワー）の変化の応答速度よりも十分に速い。

【0019】光分岐手段31及び34における分岐比は、第1及び第3分岐光の必要強度に応じて設定される。第1及び第2分岐光間の分岐比並びに第3及び第4分岐光間の分岐比は、例えば、それぞれ1:20である。

【0020】図4は本発明の光増幅器の第1構成の第2実施態様を示すブロック図である。第2実施態様は、光分岐手段31及び励起光制御手段32が付加的に設けられている点並びに制御減衰手段（図1参照）が光減衰器33を含む点で図3の第1実施態様と共通する。図4の第2実施態様が図3の第1実施態様と異なる点は、光減衰器33の減衰率をフィードフォワード制御するようにしている点である。

【0021】即ち、第2実施態様においては、制御減衰手段（図1参照）は、光減衰器33に加えて、光分岐手段31からの第1分岐光のパワーに基づき光減衰器33の減衰率をフィードフォワード制御する減衰率フィードフォワード制御手段41を含む。

【0022】減衰率フィードフォワード制御手段41における制御による光パワー（光減衰器33の光出力のパワー）の変化の応答速度は、励起光制御手段32における制御による光パワー（光増幅媒体12の光出力のパワー）の変化の応答速度よりも十分に速い。

【0023】尚、減衰率フィードフォワード制御手段41の制御応答特性によっては、入力信号光のパワーの急峻な変化に光減衰器33の減衰率の変化が追従し得ない恐れがあるので、このような場合には、遅延時間が減衰率フィードフォワード制御手段41の制御応答特性に応じて設定される光遅延回路を光分岐手段31と光減衰器33の間に設けるとよい。

【0024】図5は図3の第1実施態様の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。図3の光増幅手段13は、励起光源11に対応するレーザダイオード51と、光増幅媒体12に対応するドープファイバ52と、光合波器53と、光アイソレータ54及び55と、光帯域通過フィルタ56とを含む。

【0025】図3の光分岐手段31及び34に対応して、それぞれ光分岐回路57及び59が設けられてい

る。光分岐回路57及び59は、例えば光カブラ等の光方向性結合器からなる。

【0026】図3の励起光制御手段32は、受光回路58及びバイアス制御回路59を含む。図3の減衰率フィードバック制御手段35は、受光回路60及び減衰率制御回路61を含む。

【0027】光合波器53のポート53Aには増幅すべき信号光が供給され、ポート53Bにはレーザダイオード51からの励起光が供給される。信号光及び励起光は光合波器53で合波され、ポート53Cから出力される。

【0028】ドープファイバ52の少なくともコアにはEr（エルビウム）、Nd（ネオジム）、Pr（プラセオジム）等の希土類元素がドープされている。ドープ元素の種類及び励起光の波長は、増幅すべき信号光の波長に応じて設定される。信号光の波長が石英系光ファイバにおける損失特性が良好な1.55μm帯にある場合において、ドープ元素がErであるときには、励起光の波長は1.48μm帯或いは0.98μm帯に設定される。

【0029】光合波器53のポート53Cは、光アイソレータ54の入力ポート54Aに接続され、光アイソレータ54の出力ポート54Bはドープファイバ52の第1端に接続される。

【0030】ドープファイバ52の第2端は光アイソレータ55の入力ポート55Aに接続され、光アイソレータ55の出力ポート55Bは光帯域通過フィルタ56の入力ポート56Aに接続される。

【0031】光アイソレータ54及び55はそれぞれ入力ポートから出力ポートに向かう順方向にのみ光を通過させる。光分岐回路57は、ポート57Aに供給された光を所定の分岐比（例えば20:1）で分岐してそれぞれポート57B及び57Cから出力する。光合波器57のポート57B及び57Cはそれぞれ光減衰器33及び受光回路58に接続される。

【0032】光分岐回路59は、光減衰器33の光出力を2分岐して、一方の分岐光を受光回路60に供給する。光分岐回路59の他方の分岐光はこの光増幅器の光出力となる。光分岐回路59の分岐比は例えば光分岐回路57の分岐比と同じである。

【0033】受光回路58は、フォトダイオード等の受光素子と増幅器を備えており、この受光回路58は、光分岐回路57からの分岐光の平均パワーに応じた直流電圧信号を出力する。

【0034】バイアス制御回路59は、受光回路58からの直流電圧信号を参照電圧 $V_{ref1}$ と比較してその誤差成分が零になるようにレーザダイオード51のバイアス電流を制御する。

【0035】光減衰器33としては、LiNbO<sub>3</sub> マツハツェンダ型光変調器、半導体電界吸収型光変調器及び

半導体マッハツェンダ型光変調器等の光変調器を用いることができる。ここで例示された光変調器を用いた場合、光変調器に与える電圧信号によりその透過率（即ち減衰率）を高速に制御することができる。

【0036】受光回路60は、フォトダイオード等の受光素子と増幅器を備えており、この受光回路60は、光分岐回路59からの分岐光の平均パワーに応じた直流電圧信号を出力する。

【0037】減衰率制御回路61は、受光回路60からの直流電圧信号を参照電圧 $V_{ref2}$ と比較してその誤差成分が零になるように光減衰器33の減衰率を制御する。次に、図5の光増幅器の動作を説明する。光合波器53で合波された信号光及び励起光は、光アイソレータ54を順方向に通過して、ドープファイバ52に入射する。ドープファイバ52に信号光及び励起光が入射すると、導波領域にドープされている希土類元素及び励起光の作用によって誘導放出が生じ、信号光は増幅される。増幅された信号光及び消費されずに残った励起光は、光アイソレータ55を順方向に通過して光帯域通過フィルタ56に入射する。光帯域通過フィルタ56では、励起光及び雑音成分となる自然放出光が除去されて、増幅された信号光のみが光帯域通過フィルタ56を通過する。

【0038】励起光のパワーの適当な可変範囲においては、励起光のパワーが増大するのに従って光増幅の利得は増大する。従って、ドープファイバ52に入力する信号光のパワーが比較的ゆっくりと変動する場合には、受光回路58及びバイアス制御回路59の作用によって、信号光のパワー変動を打ち消すようにレーザダイオード51のバイアス電流が制御される。

【0039】しかし、ドープファイバ52に入力する信号光のパワーが急激に変動した場合には、レーザダイオード51のバイアス電流の制御だけではこのパワー変動は打ち消されず、光減衰器33に入力する信号光にはパワー変動が残る。そして、このパワー変動が打ち消されるように、光減衰器33の減衰率が受光回路60及び減衰率制御回路61によって制御される。具体的には次の通りである。

【0040】図6は図5の光減衰器33に入力する信号光のパワー変化の説明図である。いま、ドープファイバ52への入力信号光のパワーが、符号71で表されるように、ステップ応答的に急激に増大した場合を想定する。このようなパワー変動は、光コネクタの着脱、光可変減衰器の操作、何らかの原因による光送信機出力電力の変化等により生じ得るものである。

【0041】このような入力信号光のパワー変動は受光回路58により検出され、バイアス制御回路59はレーザダイオード51のバイアス電流を即座に減少させて、励起光のパワーは、符号72で表されるように、入力信号光のパワーの増大とほぼ同時にステップ応答的に減少する。

【0042】しかし、励起光のパワーが急速に減少させられたとしても、ドープファイバ52における反転分布量は、符号73で表されるように、励起光のパワーが減少し始めた時点から比較的ゆっくりと減少する。反転分布量が変化し終えるには、ドープ元素が $E_r$ である場合には、10ミリ秒以上の時間を要する。

【0043】このため、光減衰器33への入力信号光のパワーは、符号74で表されるように、サージ状に変化することとなる。このような信号光のパワー変動がそのまま受信側にまで維持されていると、受光素子等に悪影響があることは前述した通りである。

【0044】図7は図5の光減衰器33の動作特性の例を示すグラフである。縦軸は透過率 $T$ を表し、横軸は制御電圧（例えばバイアス電圧） $V_b$ を表す。光減衰器33が $LiNbO_3$  マッハツェンダ型光変調器（LNMZ光変調器）である場合、透過率 $T$ は、符号81で表されるように、バイアス電圧 $V_b$ の増大に従って正弦波状に周期的に変化する。LNMZ光変調器としては、数GHz以上の変調信号用のものが実用化されているから、バイアス電圧の変化に対して透過率は極めて高速に応答する。従って、例えば符号82で表されるように、透過率とバイアス電圧が一対一で対応する領域でバイアス電圧 $V_b$ を変化させることにより、光減衰器33の減衰率を高速に制御することができる。

【0045】図5の実施例においては、このような高速な応答特性を有する光減衰器33を用いて、その減衰率を受光回路60及び減衰率制御回路61により制御するようにしているので、図6で符号74で表されるような光減衰器33への入力信号光へのパワーの変動があったとしても、これを打ち消すようなフィードバック制御が実現される。

【0046】図5の実施例では、レーザダイオード51からの励起光を信号光伝搬方向上流側からドープファイバ52に供給しているが、励起光を信号光伝搬方向下流側からドープファイバ52に供給するようにしてもよい。また、信号光の伝搬方向上流側及び下流側の双方からドープファイバ52に励起光を供給するようにしてもよい。

【0047】この実施例では、ドープファイバ52の信号光伝搬方向上流側及び下流側の双方に光アイソレータ54及び55をそれぞれ設けているので、共振光路内に光増幅媒体を含む光共振器構造が構成されることが防止され、信号光の安定した増幅が可能になる。

【0048】尚、図5の実施例において、バイアス制御回路59及び減衰率制御回路61における参照電圧 $V_{ref1}$ 及び $V_{ref2}$ 並びに受光回路58及び60における光電変換効率並びに光分岐回路57及び59の分岐比は、減衰率制御回路61において受光回路60からの直流電圧信号が参照電圧 $V_{ref2}$ に等しいとしたときの光減衰器33の光出力のパワー（出力パワー目標値）が、バイア

ス制御回路 59 において受光回路 58 からの直流電圧信号が参照電圧  $V_{ref1}$  に等しいときしたときの光減衰器 33 の光入力のパワー（入力パワー目標値）に等しいかそれよりも小さくなるように設定される。

【0049】接続等による不可避免的な損失を考慮すれば、出力パワー目標値が入力パワー目標値よりも小さくなるように上記設定がなされる。何故ならば、出力パワー目標値が入力パワー目標値よりも大きくなるように上記設定がなされると、光減衰器 33 においては利得が生じ得ないから、定常状態において減衰率制御回路 61 における誤差信号が零にはならず、光減衰器 33 が図 7 に示されたような周期的な動作特性を有している場合に、制御方法によっては制御の暴走が生じる恐れがあるからである。

【0050】ところで、一般に、光増幅器に入力する光の偏光状態は一定でないため、実用化されている LNMZ 光変調器等のように透過率（減衰率）に偏光依存性がある光減衰器を使用する場合、偏波制御回路等、入力光の偏光の変化に対応する方策を施す必要がある。また、入力光の偏光が一定の場合でも、各光学要素間の接続に用いる光ファイバやドープファイバとして偏波保持ファイバを使用することが要求され、ドープファイバの製造や光増幅器の組立に煩雑な作業が要求される。このような問題を解決し得る実施例を図 8 により説明する。

【0051】図 8 は図 3 の第 1 実施態様の他の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。この実施例では、図 3 における光増幅手段 13 と光分岐手段 31 及び 34 と励起光制御手段 32 と減衰率フィードバック制御手段 35 の一部とに対応する部分については、図 5 の実施例と同じように構成される。

【0052】光分岐回路 57 のポート 57B からの分岐光は、偏光ビームスプリッタ等からなる偏波分離器 91 で第 1 偏波成分と第 2 偏波成分に偏波分離され、第 1 及び第 2 偏波成分はそれぞれ光減衰器 92A 及び 92B に入力する。第 1 偏波成分の偏波面と第 2 偏波成分の偏波面は互いに垂直である。

【0053】光減衰器 92A 及び 92B は減衰率可変型の同一特性のものであり、各光減衰器 92A 及び 92B に入力する偏波成分の偏波面は各光減衰器 92A 及び 92B のそれぞれの固有偏波方向（所要の特性が得られるように設定された方向）に一致する。

【0054】光減衰器 92A 及び 92B から出力した各偏波成分は、例えば偏波分離器 91 と同じものからなる偏波合成器 93 で偏波合成されて、光分岐回路 59 に入力する。光分岐回路 59 の一方の分岐光は受光回路 60 で直流電圧信号に変換される。

【0055】減衰率制御回路 94 は、受光回路 60 からの直流電圧信号を参照電圧  $V_{ref2}$  と比較してその誤差成分が零になるように光減衰器 92A 及び 92B の減衰率を制御する。

【0056】図 5 の実施例におけるのと同じ理由により、バイアス制御回路 59 及び減衰率制御回路 94 における参照電圧  $V_{ref1}$  及び  $V_{ref2}$  並びに受光回路 58 及び 60 における光電変換効率並びに光分岐回路 57 及び 59 の分岐比は、減衰率制御回路 94 において受光回路 60 からの直流電圧信号が参照電圧  $V_{ref2}$  に等しいときしたときの偏波合成器 93 の光出力のパワー（出力パワー目標値）が、バイアス制御回路 59 において受光回路 58 からの直流電圧信号が参照電圧  $V_{ref1}$  に等しいときしたときの偏波分離器 91 の光入力のパワー（入力パワー目標値）に等しいかそれよりも小さくなるように設定される。光学的な接続等による不可避免的な損失を考慮すれば、出力パワー目標値が入力パワー目標値よりも小さくなるように上記設定がなされる。

【0057】本実施例によると、各光減衰器 92A 及び 92B に入力する光の偏波状態は常に一定するので、各光減衰器 92A 及び 92B の減衰率に偏波依存性がある場合でも、偏波制御回路等が不要となり、また、各光学要素間の光接続用の光ファイバやドープファイバとして偏波保持ファイバを使用することなしに、本発明の目的を達成することができ、ドープファイバの製造作業や光増幅器の組立作業が簡単になる。

【0058】図 9 は図 4 の第 2 実施態様の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。光増幅手段がレーザダイオード 51、ドープファイバ 52、光合波器 53、光アイソレータ 54、55 及び光帯域通過フィルタ 56 を含む点と、光分岐手段が光分岐回路 57 である点と、励起光制御手段が受光回路 58 及びバイアス制御回路 59 を含む点と、減衰率可変型の光減衰器 33 が用いられている点は図 5 の実施例と同じである。

【0059】本実施例では、光分岐回路 57 のポート 57B からの分岐光は、所定長さの光ファイバ等からなる光遅延回路 102 を通過した後光減衰器 33 に供給され、光減衰器 33 の光出力がこの光増幅器から送出される。

【0060】そして、減衰率制御回路 101 が、受光回路 58 からの直流電圧信号を参照電圧  $V_{ref3}$  と比較してその誤差成分が零になるように光減衰器 33 の減衰率を制御する。

【0061】光遅延回路 102 における遅延時間は、減衰率制御回路 101 の制御応答特性に応じて設定される。例えば、光遅延回路 102 における遅延時間は、受光回路 58 の受光レベルが変化してから光減衰器 33 の減衰率が変化し始めるまでの時間にほぼ等しく設定される。

【0062】図 5 の実施例におけるのと同じ理由により、バイアス制御回路 59 における参照電圧  $V_{ref1}$  及び減衰率制御回路 101 における参照電圧  $V_{ref3}$  は、減衰率制御回路 101 において受光回路 58 からの直流電圧信号が参照電圧  $V_{ref3}$  に等しいときしたときの光減衰器 3

3の光出力のパワー（出力パワー目標値）が、バイアス制御回路59において受光回路58からの直流電圧信号が参照電圧 $V_{ref1}$ に等しいとしたときの光減衰器33の光入力のパワー（入力パワー目標値）に等しいかそれよりも小さくなるように設定される。即ち $V_{ref3} \leq V_{ref1}$ である。接続等による不可避免的な損失等を考慮すれば、出力パワー目標値が入力パワー目標値よりも小さくなるように上記設定がなされる。

【0063】本実施例によると、1つの受光回路58からの直流電圧信号に基づいてレーザダイオード51のバイアス電流をフィードバック制御するとともに光減衰器33の減衰率をフィードフォワード制御するようにしているので、入力信号光のパワーの急峻な変化にかかわらず出力信号光のパワーを一定に保つことができ、しかも、図5の実施例に比べて光分岐回路及び受光回路の数を減らして装置の構成を簡単にすることができる。

【0064】尚、図4の第2実施態様においても、図8の実施例（第1実施態様の具体例）におけるのと同じようにして、光減衰器の偏波依存性に対処してもよい。図10は図2の本発明の第2構成の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。本実施例において、光増幅手段の構成が図5の実施例と異なる点は、ドープファイバ52の信号光伝搬方向下流側の光アイソレータ55（図5参照）を除去して、ドープファイバ52の第2端を直接光帯域通過フィルタ56の入力ポート56Aに接続している点である。光分岐手段として光分岐回路57が用いられている点と、励起光制御手段が受光回路58及びバイアス制御回路59を含む点は図5の実施例と同じである。

【0065】符号111はポート111A、111B、111C及び111Dを有する4ポート型の光サーキュレータを表している。ポート111Aに供給された光はポート111Bのみから出力し、ポート111Bに供給された光はポート111Cのみから出力し、ポート111Cに供給された光はポート111Dのみから出力し、ポート111Dに供給された光はポート111Aのみから出力する。

【0066】ポート111Aにはレーザダイオード112からの制御光が供給され、ポート111Bは光分岐回路57のポート57Bに接続され、ポート111Cは図示しない出力側光伝送路に接続され、ポート111Dはデッドエンドにされる。

【0067】レーザダイオード111からの制御光は、光サーキュレータ111、光分岐回路57及び光帯域通過フィルタ56をこの順に通過してドープファイバ52に導入される。また、光分岐回路57のポート57Bから出力された信号光は、光サーキュレータ111を介してこの光増幅器から送出される。

【0068】このような光サーキュレータ111を用いているので、ドープファイバ52の信号光伝搬方向下流

側に光アイソレータを設けなくとも、光増幅媒体を含む光共振器構造が構成される恐れはない。

【0069】制御光のパワーはバイアス制御回路113により制御される。バイアス制御回路113は、受光回路58からの直流電圧信号を参照電圧 $V_{ref4}$ と比較してその誤差成分が零になるようにレーザダイオード112のバイアス電流を制御する。

【0070】入力信号光のパワーが比較的ゆっくりと変動したときにバイアス制御回路59によってレーザダイオード51からの励起光のパワーが制御される点はこれまでの実施例と同じである。この実施例では、入力信号光のパワーが急激に変化したときに、バイアス制御回路113によってレーザダイオード112から供給される制御光のパワーが制御される。

【0071】例えば、入力信号光のパワーが急激に増大した場合に、レーザダイオード112から供給される制御光のパワーは増加させられ、これによりドープファイバ52内における反転分布が急速に減少してこの光増幅器の出力信号光のパワーが一定に保たれる。また、入力信号光のパワーが急激に減少した場合には、レーザダイオード112から供給される制御光のパワーが減少させられ、これによりドープファイバ52内における反転分布が急速に増大して、この光増幅器の信号光出力のパワーが一定に保たれる。

【0072】制御光の波長はドープファイバ52で誘導放出を生じさせる波長帯に設定される。例えば、制御光の波長は信号光の波長にほぼ等しく設定される。バイアス制御回路59における参照電圧 $V_{ref1}$ 及びバイアス制御回路113における参照電圧 $V_{ref4}$ は、バイアス制御回路113において受光回路58からの直流電圧信号が参照電圧 $V_{ref4}$ に等しいとしたときのこの光増幅器の光出力のパワー（制御光制御目標値）が、バイアス制御回路59において受光回路58からの直流電圧信号が参照電圧 $V_{ref1}$ に等しいとしたときのこの光増幅器の光出力のパワー（励起光制御目標値）に等しいかそれよりも大きくなるように設定される。即ち、 $V_{ref1} \leq V_{ref4}$ である。このような設定を行うようにしているのは、制御光制御目標値が励起光制御目標値よりも小さいと、制御光のパワーの増大を打ち消すように常に励起光のパワーが増加する方向に励起光制御がなされてしまい、良好な制御を行うことができない恐れがあるからである。

【0073】図11は図2の本発明の第2構成の他の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。この実施例が図10の実施例と異なる点は、光サーキュレータ111のポート111Cから出力される信号光を光分岐回路121により分岐し、分岐光の一方に基づき制御光の制御を行っている点である。光分岐回路121の他方の分岐光はこの光増幅器の光出力となる。光分岐回路121としては光分岐回路57と同じものが用いられる。

【0074】受光回路122は光分岐回路121から供

15

給された分岐光の平均パワーに応じた直流電圧信号を出力する。バイアス制御回路123は、受光回路122からの直流電圧信号を参照電圧 $V_{ref5}$ と比較してその誤差成分が零になるようにレーザダイオード112のバイアス電流を制御する。

【0075】この実施例によっても、入力信号光のパワーの急峻な変化にかかわらず出力信号光のパワーを一定に保つことができる。尚、図10の実施例におけるのと同じ理由により、バイアス制御回路59及び123における参照電圧 $V_{ref1}$ 及び $V_{ref5}$ 並びに受光回路58及び122における光電変換効率並びに光分岐回路57及び121の分岐比は、バイアス制御回路123において受光回路122からの直流電圧信号が参照電圧 $V_{ref5}$ に等しいとしたときのこの光増幅器の光出力のパワー（制御光制御目標値）が、バイアス制御回路59において受光回路58からの直流電圧信号が参照電圧 $V_{ref1}$ に等しいとしたときのこの光増幅器の光出力のパワー（励起光制御目標値）に等しいかそれよりも大きくなるように設定される。

【0076】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、入力信号光のパワーの急峻な変化にかかわらず出力信号光のパワーを一定に保つことができる光増幅器の提供が可能になるという効果を奏する。

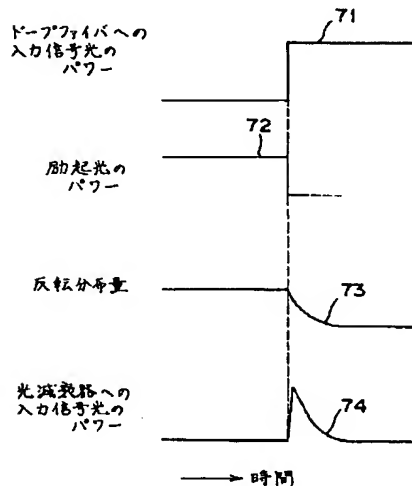
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光増幅器の第1構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の光増幅器の第2構成を示すブロック図である。

【図6】

光減衰器に入力する信号光のパワー変化の説明図



16

【図3】図1の第1構成の第1実施態様を示す光増幅器のブロック図である。

【図4】図1の第1構成の第2実施態様を示す光増幅器のブロック図である。

【図5】図3の第1実施態様の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。

【図6】光減衰器に入力する信号光のパワー変化の説明図である。

【図7】光減衰器の動作特性の例を示すグラフである。

【図8】図3の第1実施態様の他の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。

【図9】図4の第2実施態様の具体的実施例を示す光増幅器のブロック図である。

【図10】図2の第2構成の具体的実施例を示すブロック図である。

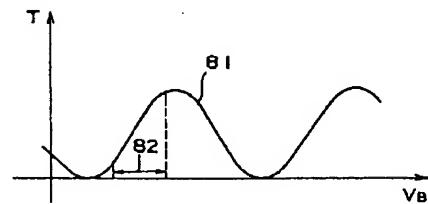
【図11】図2の第2構成の他の具体的実施例を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 11 励起光源
- 12 光増幅媒体
- 13 光増幅手段
- 14 制御減衰手段
- 21, 31, 34 光分岐手段
- 22 制御光導入手段
- 23 制御光制御手段
- 32 励起光制御手段
- 33 光減衰器
- 35 減衰率フィードバック制御手段
- 41 減衰率フィードフォワード制御手段

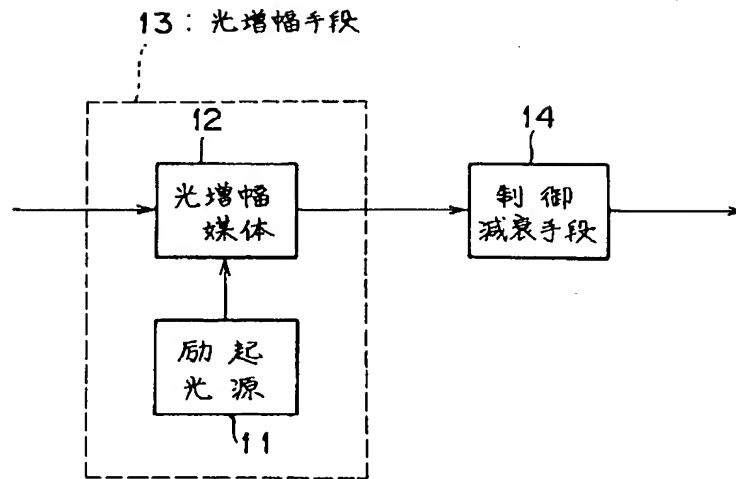
【図7】

光減衰器の動作特性の例を示すグラフ



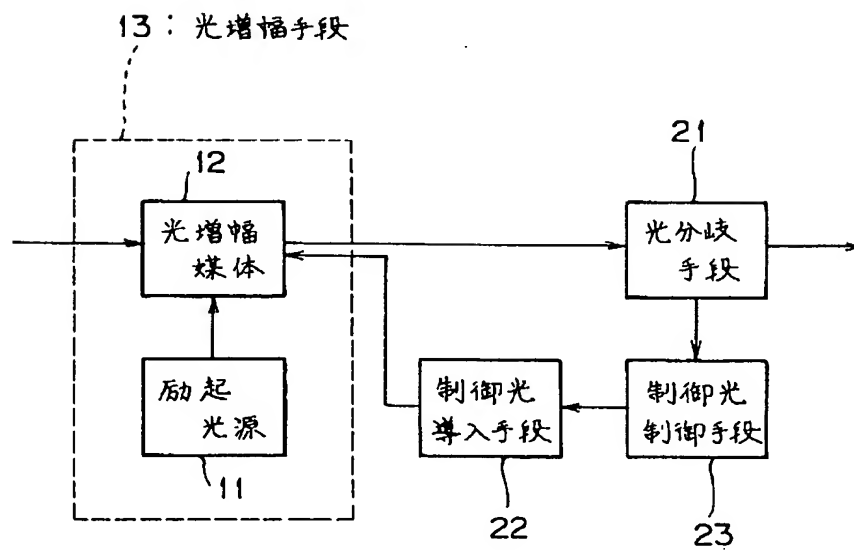
【図1】

## 第1構成のブロック図



【図2】

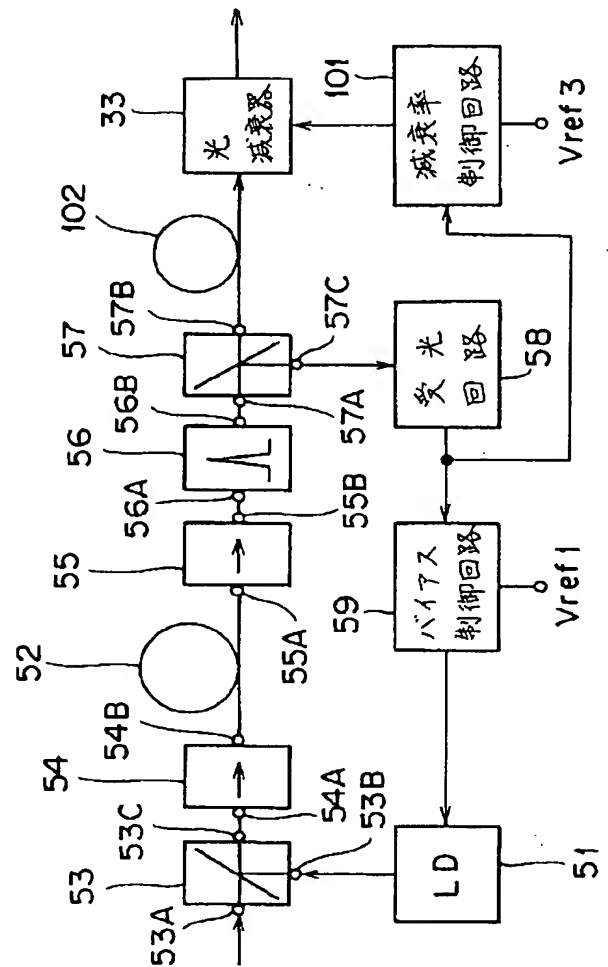
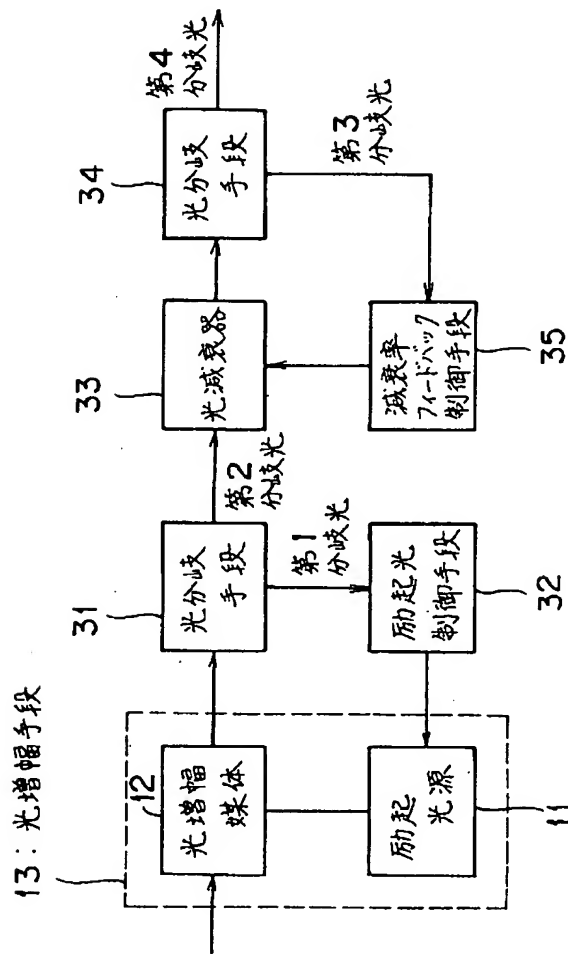
## 第2構成のブロック図



【図3】

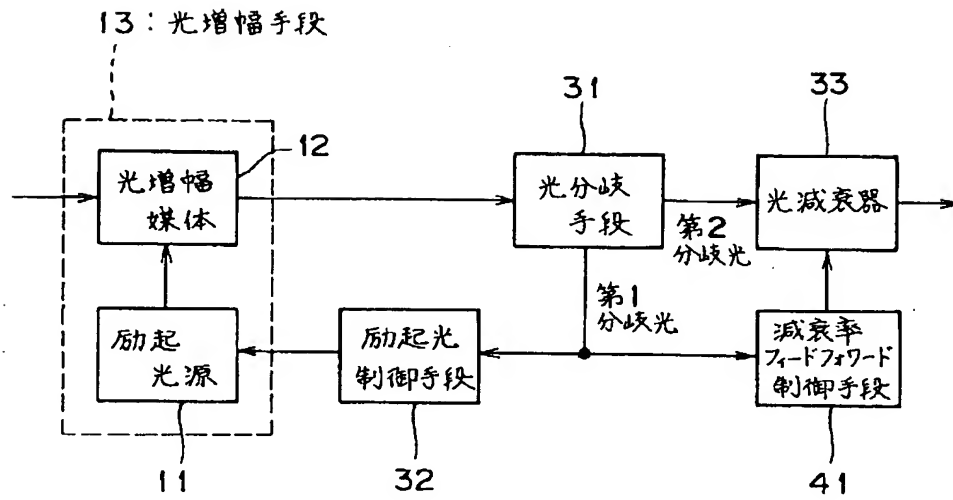
【図9】

第1構成の第1実施態様のブロック図 図4の具体的実施例を示すブロック図



【図4】

## 第1構成の第2実施態様のブロック図





【図5】

図3の具体的実施例を示すブロック図

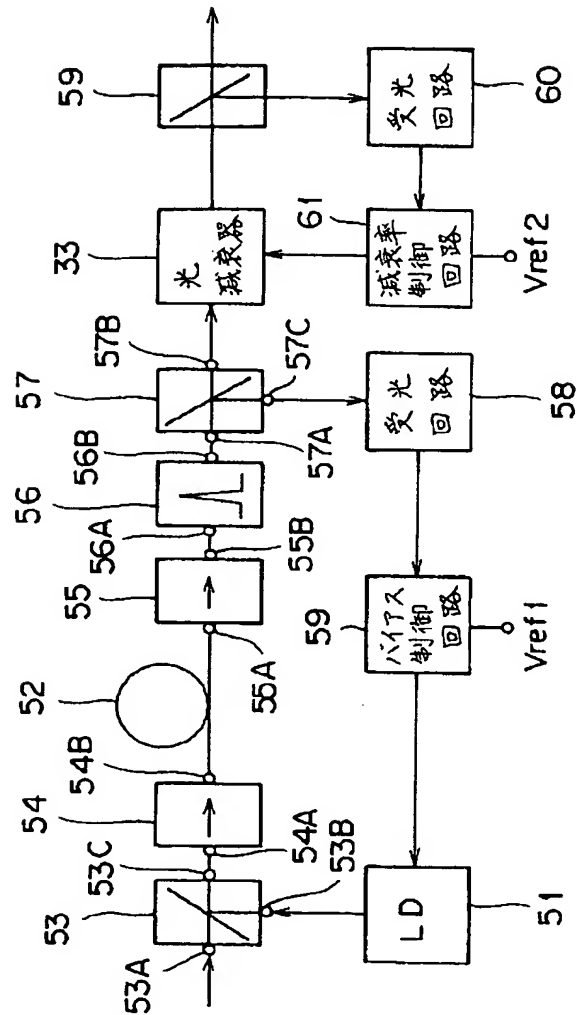
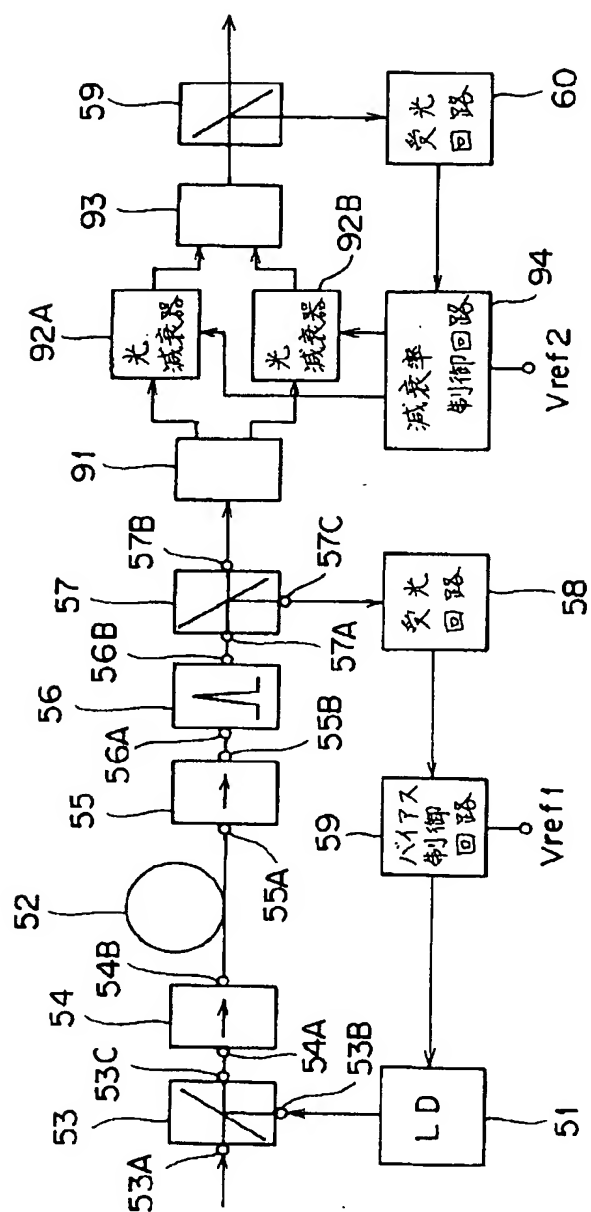


図 3 の他の具体的実施例を示すブロック図



【図10】

第2構成の具体的実施例を示すブロック図

